

Miloš RIEGER¹, Radim ČAJKA²

HAVÁRIE OCELOVÉ KONSTRUKCE ZASTŘEŠENÍ TRIBUNY

Abstract

This paper turns attention to the collapse analysis of roof steel platform structure. Collapse occurred in process of extreme winter time. Influence of snow conditions as well as subsequent effects are discussed.

1 ÚVOD

Extrémní výkyvy počasí, na které si v posledních letech postupně zvykáme, zejména pak dlouhá zimní období s vysokou sněhovou pokrývkou, dovedou náležitě prověřit spolehlivost exponovaných konstrukcí a odhalit jejich případné nedostatky. Častokrát jsou však následné havárie a defekty připisovány pouze extrémním klimatickým podmínkám.

2 HAVÁRIE TRIBUNY

K havárii nosné ocelové konstrukce tribuny došlo v březnu roku 2005, kdy se vlivem tíhy sněhu zdeformovala konzolovitě vyložená nosná část zastřešení tak, že došlo k pádu střechy na sedadla tribuny. Vlastní prohlídka místa havárie ukázala, že příčinou havárie a zřícení střechy bylo vyboulení a následné plastické přetvoření ocelových stojin svařovaného I nosníku v místě napojení konzolovitě vyložených nosníků tribuny a vznik plastického kloubu (Obr. 1 až 3), viz [6].



Obr.1 : Havárie tribuny fotbalového stadionu vlivem přetížení sněhem.

¹ Ing., Ph.D., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Podéště 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, tel. (+420) 59 732 1349, e-mail milos.rieger@vsb.cz.

² Doc., Ing., CSc., VŠB-TU Ostrava, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí, Ludvíka Podéště 1875, 708 00 Ostrava – Poruba, tel. (+420) 59 732 1344, e-mail radim.cajka@vsb.cz .



Obr.2 Detail vyboulené stojiny v místě rámového styčnicku tribuny.



Obr.3 Detail zdeformovaného styčnicku a demontované krytiny.

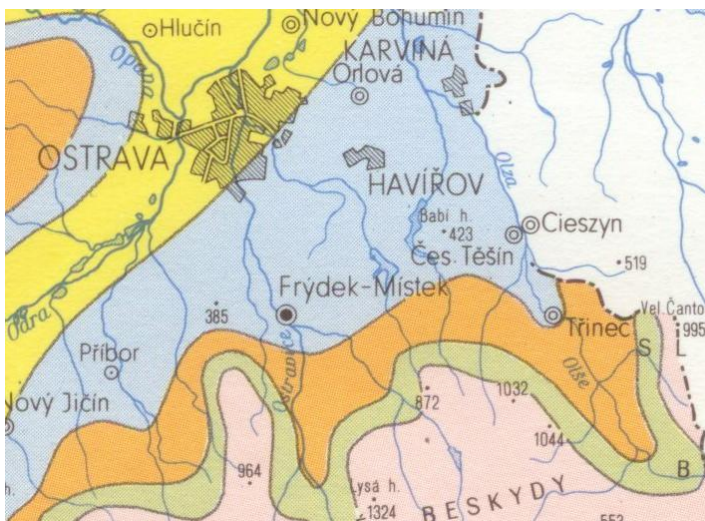
2.1 Klimatické zatížení sněhem

Podle [1] se město Třinec nachází na rozhraní tzv. II. a III. sněhové oblasti, viz obr. 4. Ze situace umístění fotbalového stadionu a mapy sněhových oblastí (obr. 4) vyplývá, že konstrukce mohla být navržena na II. sněhovou oblast. Původní statický výpočet se však zřejmě nedochoval, takže není zřejmé, na jaké zatížení byla tribuna skutečně navržena.

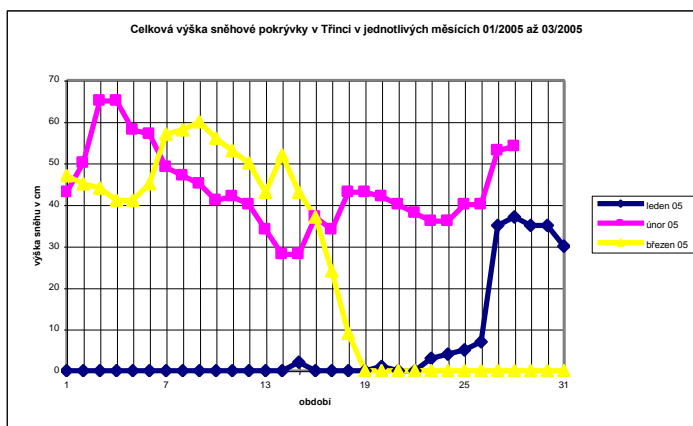
Pro ověření skutečné výšky sněhové pokrývky v místě havárie byly získány klimatologické údaje o výšce sněhu u Českého hydrometeorologického ústavu, pobočka Ostrava, viz [5]. V tomto vyjádření se uvádí základní tíha sněhu stanovená z dlouhodobé maximální výšky sněhové pokrývky ze stanice Třinec hodnotou $1,02 \text{ kN.m}^{-2}$.

Rovněž z dalších získaných hodnot celkové výšky sněhové pokrývky (SCE) v cm, výšky nového sněhu (SNO) v cm a vodní hodnoty sněhové pokrývky (SVH) v mm vyplývá, že v uvedeném období 01/2005 až 03/2005 dosáhlo zatížení sněhem hodnoty až 135 kg.m^{-2} . Tato zatížení tedy znač-

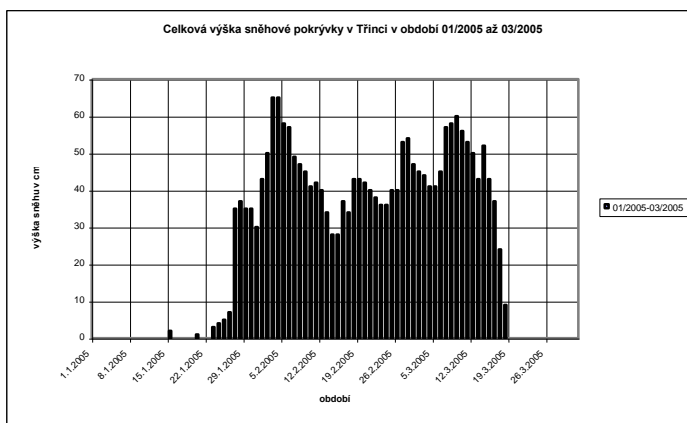
ně překračují normové hodnoty uvažované pro II. sněhovou oblast podle [1]. Z předaných údajů byly výšky celkové sněhové pokrývky pro uvedené období graficky zpracovány na obr. č. 5 a 6.



Obr. 4 Mapa sněhových oblastí.



Obr. 5 Výšky sněhu v Třinci pro jednotlivé měsíce v období 01/2005 až 03/2005.

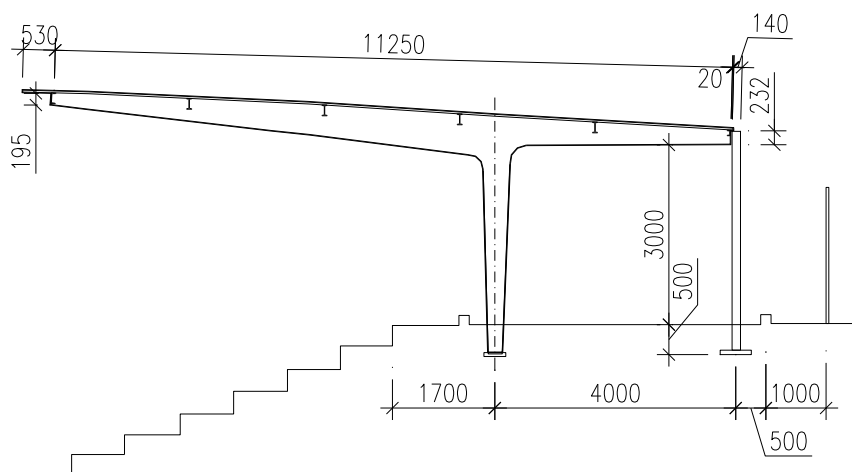


Obr. 6 Celkový histogram výšky sněhu v Třinci od 01/2005 až po 03/2005.

2.2 Konstrukční řešení tribuny

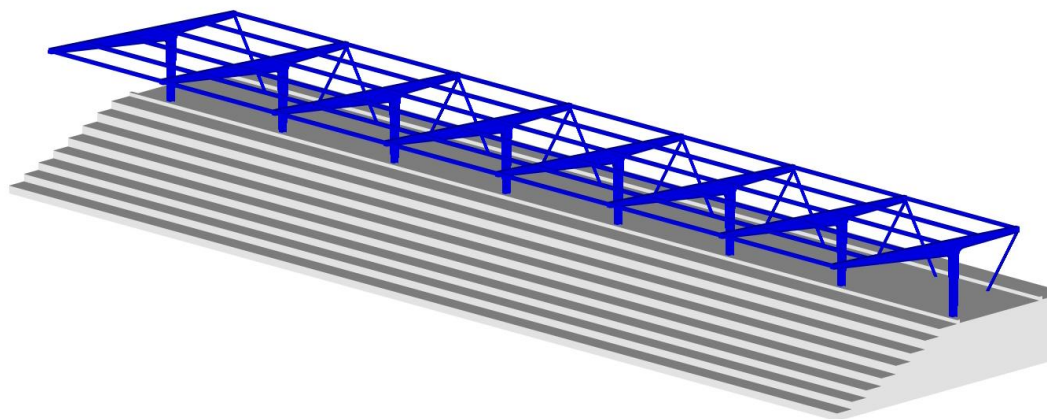
Ocelová konstrukce zastřešení tribuny je podle původní dílenské dokumentace v podélném směru tvořena řadou svařovaných příčných T-rámů ukotvených do základů o podélné rozteči 6,75 m. Na koncích kratších konzol svařovaných rámů je pomocí svislých ocelových prvků tvaru „A“ provedeno excentrické průběžné podélné zavětrování. V příčném směru pak tyto svislé prvky doplňují příčné I-rámy a vytvářejí s nimi příčnou, tří-klobovou vazbu. V úrovni střechy jsou rámy propojeny vaznicemi a doplněny ocelovou krytinou (VSŽ plechy). V n-tém poli se ve střešní rovině nachází příčné střešní ztužidlo, které navazuje na ztužení svislé podélné. Kotvení T-rámů je konstrukčně provedeno v rovině T-rámů jako kloubové, v podélném směru jako vetknuté. Toto vetknutí se však nachází v oblasti nejnižší tuhosti odstupňovaného profilu sloupu T-rámu, proto se, ze statického hlediska, jedná o vetknutí pružné.

Schéma hlavního nosného systému konstrukce zastřešení tribuny je patrné z obr. 7.



Obr.7 Schéma příčného konzolového T-rámu.

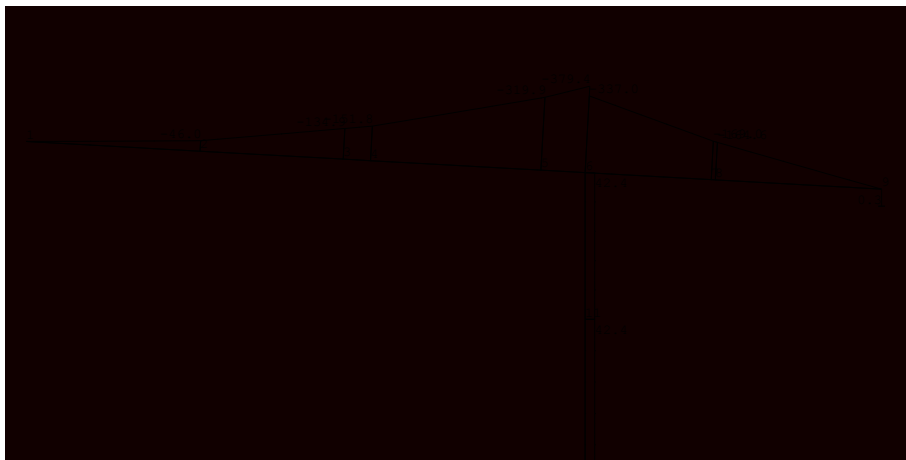
Celková konstrukce tribuny je pak dobře patrná z trojrozměrného modelu na obr. 8.



Obr.8 Trojrozměrné (3D) schéma nosné rámové konstrukce zastřešení.

2.3 Vnitřní síly

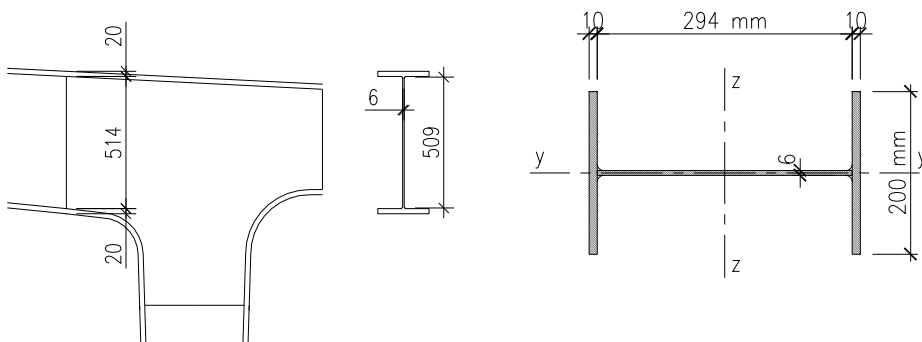
Vnitřní síly byly kontrolně přepočítány metodou konečných prvků programem NEXIS 32 na příčné rámové konstrukci T-rámu, a to na několika modelech, (obr. 9). Zatížení bylo uvažováno dle [1], včetně kombinace zatížení. Zatížení sněhem bylo uvažováno pro II. a III. sněhovou oblast. Zatížení od vlastní hmotnosti bylo generováno programem automaticky.



Obr. 9 Vnitřní síly - M_y na prutech pro II. Sněhovou oblast.

2.4 Posouzení kritických průřezů

Posouzení bylo provedeno podle platných norem v době návrhu konstrukce, tj. okolo roku 1989, kdy ještě byla v platnosti stará (dnes již neplatná) ČSN 73 1401 [3].

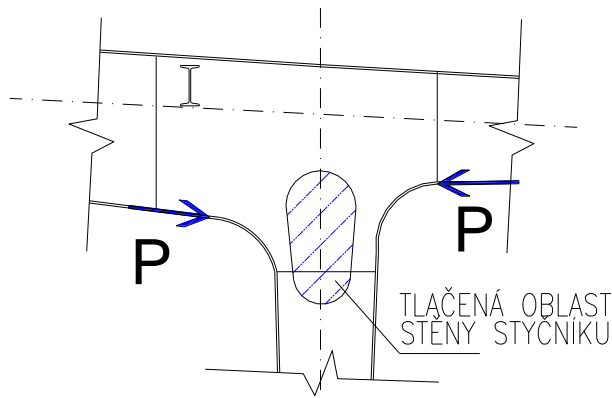


Obr. 10 Průřez konzoly T-rámů a průřez sloupu ve výšce $h/2$.

Posouzení se týkalo především nezajištěného dolního pásu konzoly na vyložení 7320 mm namáhaného kombinací ohybu s klopením a smyku. Okapová vaznice zde znemožňuje vybočení, ale není zabráněno deplanaci. Konzola zůstává z hlediska ohybu konzolou, ve smyslu klopení je však nosníkem.

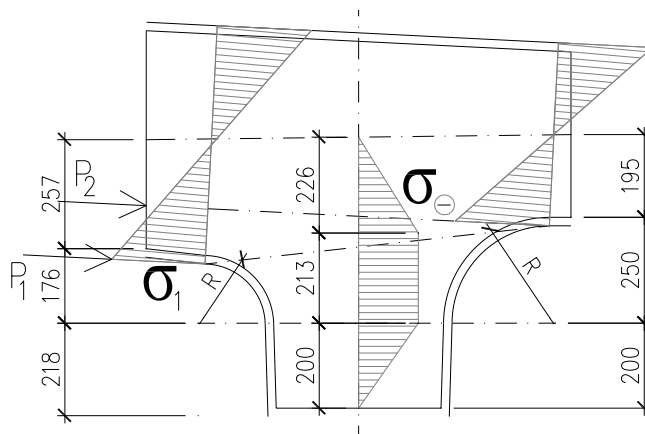
2.4.1 Posouzení tlakové oblasti styčnicku

Současně bylo provedeno posouzení kritické tlakové oblasti styčnicku svařovaného T-rámu. Dle čl. 61 [3] má být v místě styčnicku umístěna výztuha: „V místech trvalého působení osamělých břemen nebo reakcí má být nosník opatřen příčnými výztuhami.“



Obr. 11 Tlaková oblast stojiny styčníku.

Předmětná tlaková oblast (obr. 11) postrádá jakékoliv vyztužení. I když se jedná o součást samostatně vsazeného výpalku dle šablony, byla ponechána stejná tloušťka stěny tl. 6 mm jako u přilehlých průřezů.



Obr.12 Odhad tlakového pole ve stojině styčníku.

Odhad tlakového napětí pro II. sněhovou oblast se nachází mírně pod hranicí meze kluzu materiálu. Současně by však měly být v zasažené tlakové oblasti zahrnuty i vlivy stabilitní. V tomto případě by pak uvažovaný průřez plechu v místě styčníku zatížený tlakovými silami od spodní pásnice konzolového nosníku stabilitně nevyhověl.

3 ZÁVĚR

Podrobné statické posouzení nosných konstrukcí ocelového přestřešení tribuny v areálu stadionu v Třinci bylo provedeno dle ČSN 73 1401 (schválena: 5.4.1984) [3] na zatížení stálé od vlastní hmotnosti a hmotnosti opláštění, a pro zatížení nahodilé od sněhu dle ČSN 73 0035 (schválena: 19.12.1986) a větru. Pro zatížení sněhem bylo počítáno se sněhovou oblastí II. $s_0 = 0,7 \text{ kN.m}^{-2}$ dle mapy sněhových oblastí pro město Třinec, a kontrolně se zatížením od sněhu pro sněhovou oblast III. $s_0 = 1,0 \text{ kN.m}^{-2}$.

Nutno však poznamenat, že posuzovaná konstrukce není zcela typická a také to, že obsah ČSN 73 1401/1984 v žádném případě nemůže postihnout všechny možné variace návrhu OK. V uvažované souvislosti se jedná konkrétně o zahrnutí vlivu náběhů geometrie průřezů a odhad míry vetknutí jednotlivých konstrukčních částí.

Nicméně provedené separátní posouzení konzoly I-rámu na vyložení 7320 mm se zajištěným volným koncem proti vybočení (okapová vaznice) prokázalo, že průřez vyhoví i s ohledem na klope-

ní dolního pásu pro II. sněhovou oblast. Pro III. sněhovou oblast by byl mezní stav únosnosti překročen. Vetknutí konzoly do styčnicku T-rámu bylo idealizovaně uvažováno jako tuhé z hlediska ohybu i kroucení. Separátní posouzení sloupu T-rámu rovněž prokázalo dostatečnou únosnost. Konstrukční vetknutí sloupů v podélném směru konstrukce bylo s ohledem na min. tuhost průřezu sloupu v patce nahrazeno pro výpočet kloubem. Rovněž uložení sloupů v rovině střechy bylo uvažováno jako kloubové.

Ačkoliv samostatné posouzení konzoly i sloupu I-rámu prokázalo pro II. sněhovou oblast dostatečnou únosnost, konstrukční návrh nerespektoval výskyt lokální tlakové oblasti stěny styčnicku T-rámu. Zde zřejmě nebyly aplikovány požadavky čl. 61 normy [3], neboť za "reakce" by v tomto případě měly být považovány tlakové síly koncentrované především v dolních pásech obou konzol T-rámu. Přenos těchto sil nebyl dostatečně zajištěn. Oblast styčnicku T-rámu byla navržena o shodné tloušťce 6 mm jako okolní průřezy, konstrukčně zde nebyly aplikovány ani žádné dodatečné ztužující prvky (výztuhy). Orientační posouzení lokální tlakové napjatosti ve zmíněné oblasti ukazuje, že napětí se zde pohybuje (bez započítání stabilitních vlivů vzpěru a víceosé napjatosti) v hodnotách blízkých se mezi kluzu použitého materiálu. Při započítání stabilitních vlivů pak tato oblast více jak dvojnásobně překračuje dovolenou mez namáhání. Zjištěná extrémní tlaková napjatost pak plně koresponduje s předpokládanou mechanikou kolapsu konstrukce:

- i v případě II. sněhové oblasti se ve stěně styčnicku tl. 6 mm koncentruje lokální tlakové napětí blízké se mezi kluzu;
- u iniciačního sloupu, u kterého se zřejmě ve styčnicku vyskytovala imperfekce stěny (nebo příp. i vliv vetknuté a torzně namáhané konzoly), nastává náhlé vybočení tlačené stěny a tím i zhroucení konzoly střechy. Následně okolní rámy, které nedisponují žádnou rezervou únosnosti, nejsou schopny převzít takto vzniklé přetížení a rovněž ztrácejí únosnost.

Závěrem možno konstatovat, že pokud by vsazený vypálený tvar stěny styčnicku byl zvolen o větší tloušťce (nebo bylo použito patřičného vyztužení), ke kolapsu by zřejmě nedošlo. Totéž lze tvrdit, že pokud by zatížení sněhem nepřesáhlo hodnoty odpovídající II. sněhové oblasti ke kolapsu by taktéž nemuselo dojít (konstrukce byla v bezporuchovém provozu 15 let).

OZNÁMENÍ

Tento výsledek byl získán za finančního přispění MŠMT, projekt 1M6840770001, v rámci činnosti výzkumného centra CIDEAS. Při řešení byly částečně využity teoretické výsledky dosažené v projektu GAČR 103/05/H03 „Analýza spolehlivosti konstrukcí vystavených účinkům mimořádného zatížení“.

LITERATURA

- [1] ČSN 73 0035: Zatížení stavebních konstrukcí, ÚNM, Praha, 1986
- [2] ČSN 73 0038: Navrhování a posuzování stavebních konstrukcí při přestavbách, ÚNM, Praha, 1986.
- [3] ČSN 73 1401: Navrhování ocelových konstrukcí, ÚNM Praha, 1984.
- [4] ČSN 73 1401: Navrhování ocelových konstrukcí, ČNI Praha, 1998.
- [5] Dopis zn. 504-23/05: Klimatologické údaje o sněhové pokrývce v oblasti stadiónu FC Třinec v období 1/2005 až 3/2005. Český hydrometeorologický ústav, pobočka Ostrava, 30.5.2005.
- [6] ČAJKA R, Znalecký posudek ZP-0510-100 Havárie tribuny fotbalového stadionu FC Třinec, Ostrava 04/2006
- [7] Systém programů pro projektování prutových a stěnodeskových konstrukcí NEXIS 32, FEM consulting s.r.o, Kounicová 13, 602 00 Brno.

Recenzoval: Ing. Lubomír Rozlívka, CSc.

